Radón

«Un gas radiactivo de origen natural en su casa»

CSN
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Radón

«Un gas radiactivo de origen natural en su casa»

Escrito por Luis Santiago Quindós Poncela
Cátedra de Física Médica
Universidad de Cantabria

Dibujos: **Dr. D. Eugenio Villar García y Jose Luis Arteche García**
Diseño: **Carlos Martín García**

Edita: **Consejo de Seguridad Nuclear**
c/ Justo Dorado, 11 - 28040 MADRID.

Servicio de Publicaciones. Universidad de Cantabria
Edificio Interfacultativo. Avda. de los Castros, s/n - 39005 SANTANDER.

ISBN: 84-8102-114-8
ISBN: 84-87275-59-1
D. L.: SA-495-1995
Impresión: Imprenta Juventud

© CSN
© Servicio de Publicaciones. Universidad de Cantabria
© Luis Santiago Quindós Poncela

El autor asume la responsabilidad del texto. El CSN solamente aprueba su divulgación, pero no se responsabiliza de los datos y valoraciones expuestas.

El CSN atenderá gratuitamente cualquier petición de ejemplares.

Permitida su reproducción, total o parcial sin permiso previo, citando su origen
Ejemplar gratuito. PROHIBIDA SU VENTA.

PREÁMBULO

El Rn-222, gas inerte de origen natural que procede de la desintegración del Ra-226, forma con éste parte de la cadena de desintegración del U-238, elemento cuya concentración en suelos y rocas depende de su naturaleza y composición. En los últimos años ha cobrado interés tanto en la comunidad científica como entre el público en general, el peligro que la acumulación de este gas en las casas puede tener para la salud de las personas que habitan las mismas.

En el presente documento tratamos de abordar este problema con la idea de llegar al mayor número posible de personas, para lo cual hemos optado por desarrollarlo siguiendo dos apartados expositivos. En el primero, texto base correspondiente a las páginas impares, tratamos de aproximar el problema al público en un lenguaje claro, pero sin perder el rigor científico. Para los que quieran profundizar, se recoge en las páginas pares una información más detallada a la que remite el símbolo:

Esperamos que de la lectura de este documento se obtengan los conocimientos imprescindibles que permitan afrontar a cada uno el tema del radón sin caer en alarmismos, abordando el mismo de una manera objetiva, y siempre en el contexto de los conocimientos científicos aportados por los investigadores que, desde distintas fuentes del saber y en número creciente, se incorporan a este campo. En este sentido, es de destacar el trabajo desarrollado por los componentes de la Cátedra de Física Médica de la Universidad de Cantabria, sin el cual esta publicación no hubiera sido posible realizarse. Su elaboración no ha sido tarea fácil. Desde estas líneas queremos reconocer el trabajo de todas aquellas personas que con sus sugerencias han contribuido de manera importante a la redacción del texto final. Gracias sinceras.

El autor

SUMARIO

- Radiactividad y radón..... 1
- ¿Qué justifica el interés por el radón, hoy?.....21
- Algunas conclusiones.....31
- Referencias sobre el tema.....33
- Organismos relacionados con estudios sobre el radón en España.....37
- Glosario..... 39

RADIACTIVIDAD Y RADÓN

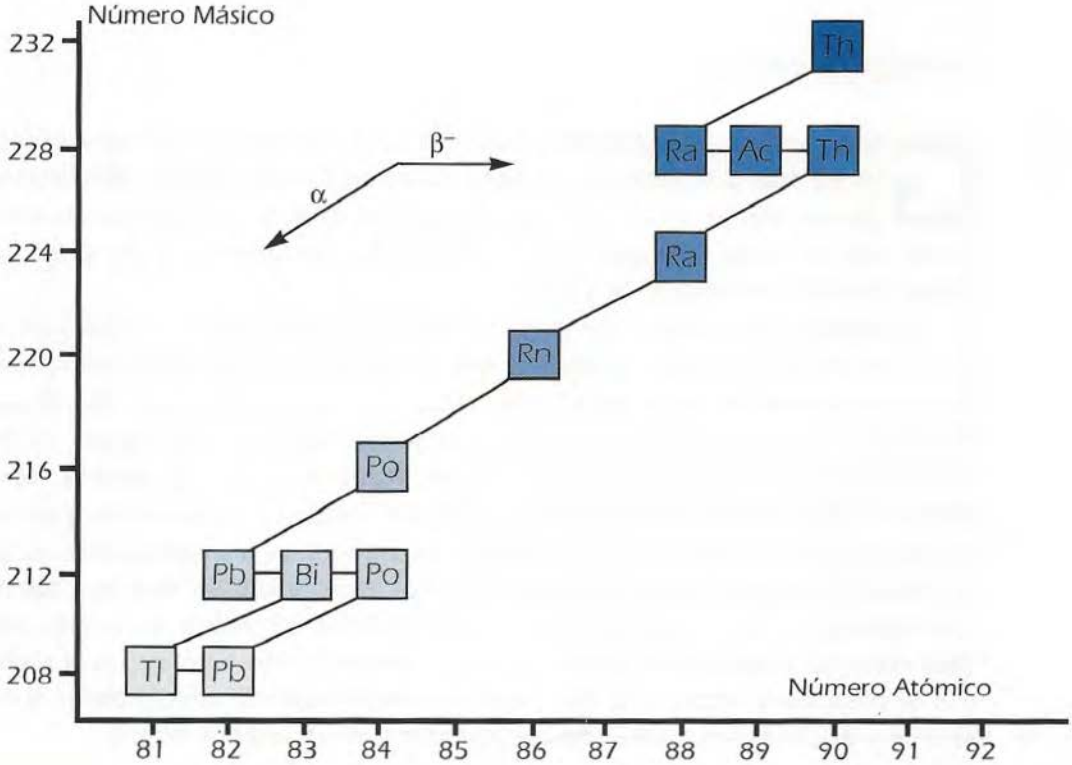
LA RADIACTIVIDAD

Generalmente, los objetos materiales que nos rodean son inmutables. Así, si el primero de enero colocamos un vaso sobre una mesa y no lo desplazamos ni ocurre ningún accidente, el 31 de diciembre de ese año, el vaso permanecerá en el mismo sitio donde fue colocado. De igual forma, una piedra en nuestro jardín puede mantenerse en la misma posición durante años y años.

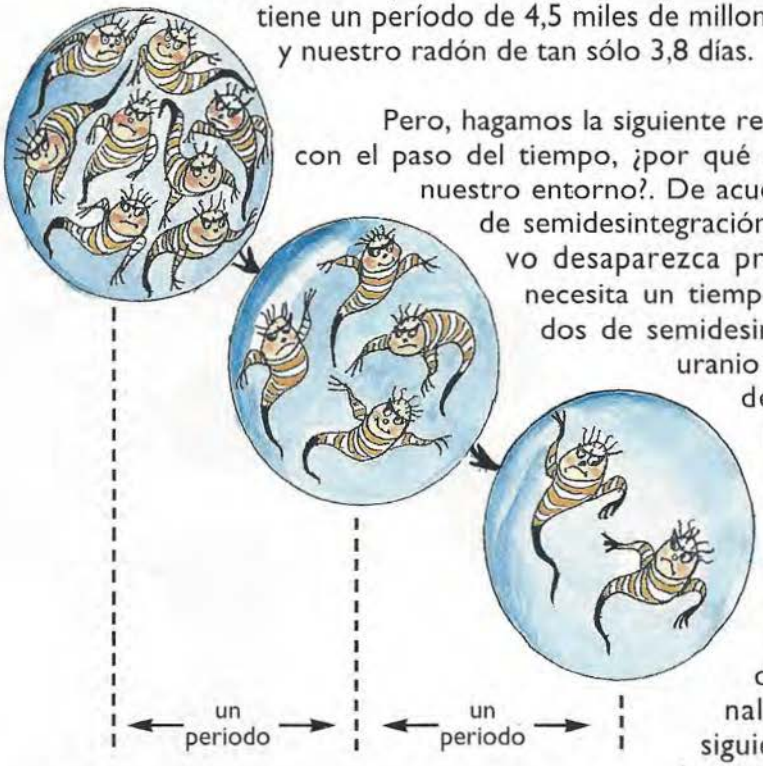
Consideremos, ahora, una mesa en la que colocamos un martillo y un kilogramo de uranio. Si no ocurre ninguna catástrofe que pueda destruir la mesa, pasados los años volveríamos a encontrar exactamente el mismo martillo. Los átomos que forman parte de él, los del hierro de la cabeza metálica, o los de carbono, oxígeno e hidrógeno de la madera, pueden considerarse, por lo tanto, indestructibles. ¿Qué ocurrirá, en cambio, con el kilogramo de uranio?. Aparentemente, el bloque aparecerá intacto, exactamente igual que el primer día. Sin embargo, ha tenido lugar a nivel microscópico una transformación de átomos de uranio en otros elementos químicos diferentes. Por esta razón, se dice que los átomos de uranio son radiactivos. La radiactividad es una propiedad en virtud de la cual algunos elementos, tales como el mencionado uranio u otros como el torio, el radio, o el radón, se desintegran con el paso del tiempo para dar lugar a nuevos átomos, emitiéndose, al mismo tiempo, en este tipo de procesos, radiaciones y partículas de naturaleza diversa.

2 Radón: un gas radiactivo de origen natural en su casa

Existen tres grandes cadenas radiactivas de origen natural cuyas cabezas de familia son respectivamente el ^{238}U, ^{235}U y ^{232}Th. Todas ellas terminan con la formación de un isótopo estable del plomo, no sin antes producirse una decena de elementos radiactivos en el intermedio. En cada una de las tres series aparece un determinado isótopo del gas radón. El ^{220}Rn que se encuentra en la familia del ^{232}Th, que tiene también por nombre torón, y el ^{219}Rn que figura en la familia del ^{235}U, que tiene por nombre actinón, tienen períodos de semidesintegración de 55,6 s y 4 s. respectivamente. Nuestro radón es el ^{222}Rn que figura en la cadena del ^{238}U, procedente del ^{226}Ra, y posee un período de 3,8 días y es al que se denomina propiamente radón.



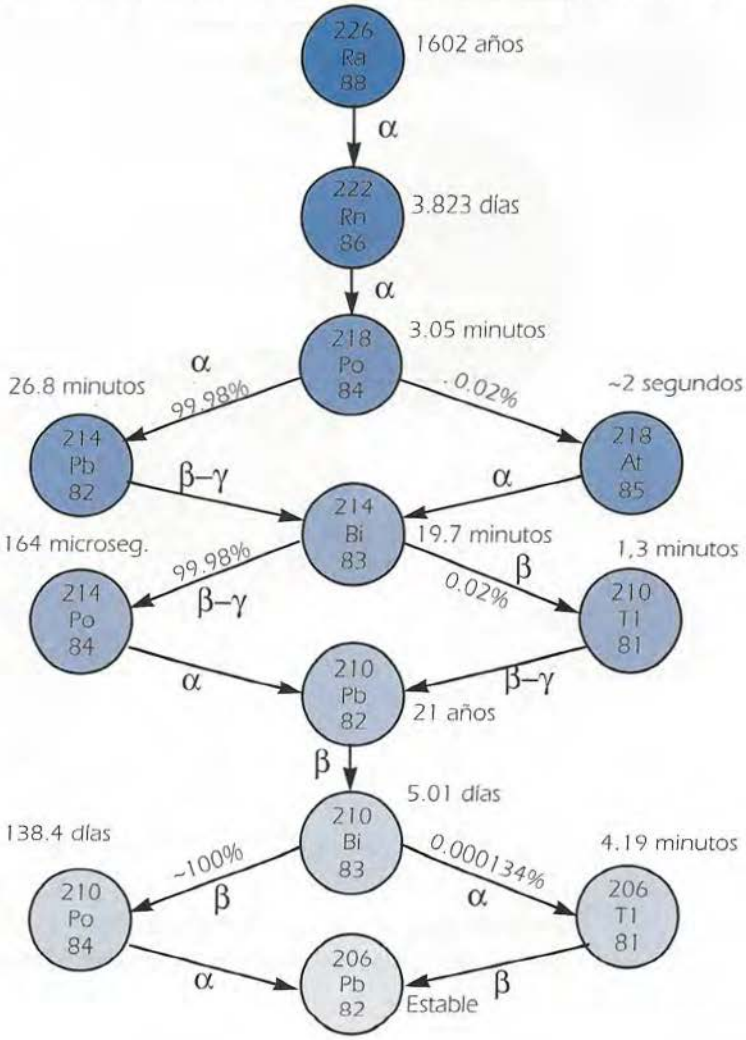
Volvamos a nuestra mesa. Si por algún medio sobrenatural pudiéramos regresar al cabo de 4,5 miles de millones de años, encontraríamos en lugar del kilogramo de uranio original, únicamente 500 gramos y, aproximadamente, otros 500 gramos de otros elementos, principalmente plomo. Es decir, en ese tiempo, la mitad del uranio se habría desintegrado. El tiempo necesario para que la mitad de los átomos de un elemento radiactivo desaparezcan de una muestra se llama período de semidesintegración.Todos los elementos radiactivos se caracterizan, por lo tanto, por su período de semidesintegración. El uranio tiene un período de 4,5 miles de millones de años, el radio de 1660 años y nuestro radón de tan sólo 3,8 días.



Pero, hagamos la siguiente reflexión. Si el uranio se transforma con el paso del tiempo, ¿por qué razón no ha desaparecido ya de nuestro entorno?. De acuerdo con la definición de período de semidesintegración, para que un elemento radiactivo desaparezca prácticamente en su totalidad se necesita un tiempo equivalente a unos diez períodos de semidesintegración y en nuestro caso, el uranio necesitaría 45 miles de millones de años. La respuesta a nuestra pregunta resulta, entonces, sencilla de expresar: Sabiendo que la edad de nuestro planeta viene a ser, aproximadamente, del orden de 4,5 miles de millones de años, podemos asegurar que en estos momentos disponemos de la mitad del uranio que originalmente se formó. Sin embargo, siguiendo este mismo razonamiento, el radón, con 3,8 días de período de semidesintegración, ha tenido tiempo de desaparecer totalmente desde la formación de la Tierra ¿no? ¡Algo hay de cierto en esta deducción y vamos a tratar de explicarlo !

De acuerdo con la Tabla de Mendeleiev, el radón pertenece a la familia de los gases nobles o gases raros. Este nombre se debe a la ausencia de reactividad química en este tipo de gases. Su estructura atómica es tan estable que no necesitan combinarse con ningún otro elemento químico. El radón tiene esta característica, pero es extremadamente móvil pudiendo atravesar una pared de plástico o madera, empleando más o menos tiempo en ello.

El radón forma parte, pero en muy pequeña proporción, de la composición del aire atmosférico que respiramos. Es, además, incoloro, inodoro e insípido. Su solubilidad en el agua es muy grande, del mismo modo que en otros líquidos, principalmente si son orgánicos. La tabla adjunta recoge algunas características fundamentales de este elemento radiactivo, así como la cadena de desintegración a partir del ^{226}Ra del que procede.



DATOS FÍSICOS:

- Densidad a 0°C y 1 atmósfera: 9,73 $Kg.m^{-3}$
- Coeficiente de difusión en aire: $0,1.10^{-5}\ m^2.s^{-1}$
- Viscosidad a 20°C y 1 atmósfera: 229,0 micropoises
- Solubilidad en varios medios a 1 atmósfera de presión parcial y 20°C:

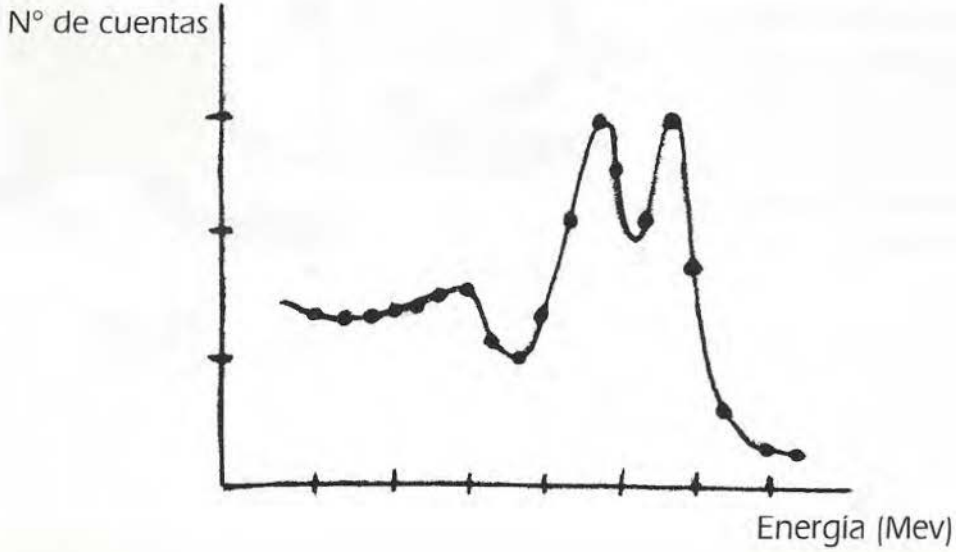
agua: $230.10^{-6}\ m^3.Kg^{-1}$
glicerina: $13,2\ .10^{-6}\ m^3.Kg^{-1}$
aceite: $29.10^{-6}\ m^3.Kg^{-1}$
alcohol etílico: $7,4.10^{-6}\ m^3.Kg^{-1}$

Es evidente que el radón creado en la formación de la Tierra ha tenido tiempo de desaparecer. Por ello, para que el radón se encuentre presente es necesario que se haya formado hace algunos días, horas o segundos. En el ejemplo de la mesa, hemos visto que después de varios miles de millones de años, el uranio ha «fabricado» plomo, pero éste es un producto final. El átomo de uranio que se desintegra, se transforma primero en torio, otro elemento radiactivo, que a su vez se desintegra dando lugar al nacimiento de un tercer elemento llamado paladio, que igualmente es radiactivo. De esta forma, siguiendo un proceso en cadena, el uranio provoca el nacimiento final del plomo estable no sin antes crear otros 13 elementos radiactivos en el intermedio, entre los que se encuentra el radio, precursor directo del radón. Éste, por lo tanto, es fabricado continuamente por la desintegración del radio, su «padre» directo, que, a su vez, resulta ser «hijo» del que podemos considerar cabeza de la familia radiactiva, el uranio.

Al ser radiactivo, el radón da origen a otros elementos que también lo son. Por esta razón, cuando hablemos del peligro del radón, no deberemos olvidar la radiación emitida por todo el conjunto, es decir, la debida al radón y a sus descendientes.

6 Radón: un gas radiactivo de origen natural en su casa

El estudio de la actividad de los elementos radiactivos existentes en diversos tipos de suelos, y en particular del radio, ha sido llevado a cabo por muchos investigadores con fines tan diversos, como son, entre otros, la búsqueda y evaluación de depósitos de materiales radiactivos, irradiación gamma producida por los suelos en el hombre, o la estimación de la determinación de la edad aproximada de formaciones geológicas. Para ello, se han desarrollado varios métodos, unos con fundamento químico y otros que utilizan el carácter radiactivo del radón mediante el empleo de distintos tipos de detectores de radiación. De estos últimos, los más importantes son los que utilizan la espectrometría gamma, midiendo las actividades de los descendientes del radón. De éstos, el más empleado es el ^{214}Bi que presenta en el espectro gamma de los suelos, obtenido mediante un detector de ioduro sodio activado con talio, unos picos claramente definidos de 0,61 MeV y 1,76 MeV. Para poder llegar a determinar el contenido de radio de los suelos por esta última técnica es necesario fijar, de un lado, las condiciones que aseguren la existencia de un equilibrio radiactivo entre el radio, el radón y sus descendientes, y , de otro, conocer el valor de la eficiencia de detección de la cadena de espectrometría gamma empleada. Para lograr lo primero, basta cerrar herméticamente la muestra a analizar durante varias semanas antes de proceder a su medida. Más difícil resulta el cálculo de la eficiencia de la cadena, que se obtiene mediante el empleo de fuentes radiactivas con un contenido conocido de radio en las mismas. Fijados estos dos puntos, la determinación del contenido de radio de un determinado suelo, resulta un ejercicio común en los laboratorios que trabajan en la medida de la radiactividad.



EL RADÓN: GAS RADIACTIVO PROCEDENTE DEL SUELO

Ya hemos visto que el radón, debido a su período de semidesintegración de 3.8 días, necesita continuamente ser formado a partir de otro elemento, y éste no es sino el radio que, a su vez, procede de la desintegración del uranio. Necesitamos, por ello, en primer lugar, definir dónde se encuentra el uranio, si queremos tener más información sobre el origen del radón en nuestras casas.

El uranio es un elemento químicamente muy activo, capaz de asociarse con muchos otros y desplazarse con ellos. Encontramos uranio en casi todas las rocas y suelos de nuestro planeta: en general, en pequeñas proporciones, algunos gramos por tonelada, lo que los geólogos llaman ppm, (partes por millón). Su concentración depende del tipo de roca y suelo, como nos muestra la tabla inferior, que incluye, además, la composición de otro elemento radiactivo como es el torio. La primera pista, entonces, para localizar el uranio será, sin duda, el estudio de la carta geológica que nos informe del tipo de roca presente en la zona que estamos estudiando. Un segundo paso consistirá en realizar en el laboratorio un análisis de muestras con el objeto de encontrar el valor de su contenido radiactivo. Sin embargo, para evaluar la cantidad de radón que puede penetrar en las casas, estos dos parámetros no son suficientes, sino que necesitamos saber algo más sobre su comportamiento. Para ello, volvamos de nuevo al origen del radón.

TIPO DE ROCA	U^{238}(ppm)	Th^{232}(ppm)
BASÁLTICAS	1,0	4.0
GRANITOS	5.0	12.0
ARCILLAS	3.7	11,0
ARENAS	0.5	1,7
SUELOS	1,0	6.0
ULTRABÁSICAS	0.001	0.004

La presencia de radón en el aire de las casas tiene diferentes orígenes: el suelo situado bajo la casa, los materiales de construcción o el agua de consumo. Este último, únicamente constituye una fuente importante en situaciones especiales, aunque sabemos que el agua representa un excelente medio de transporte para el radón en el subsuelo a grandes distancias. Son, por lo tanto, las dos primeras fuentes las que presentan mayor importancia e interés en la mayoría de las ocasiones. En cualesquiera de las dos que se constituya en fuente, o en ambas, son la difusión molecular y el flujo convectivo los mecanismos empleados por el radón para acceder a las casas. Vamos a tratar de explicar, brevemente, el fundamento de ambos procesos.

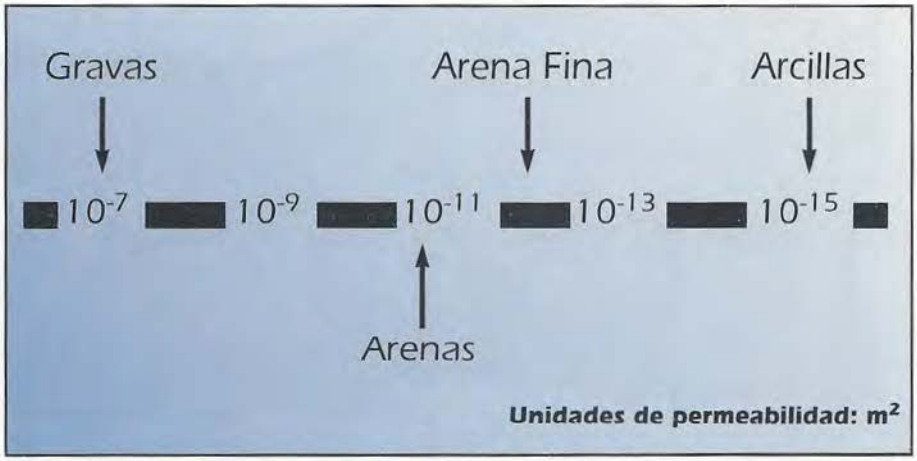
La desintegración del radio presente en la roca o material de construcción constituye, sin lugar a dudas, el punto de partida. Ello provoca que una fracción de átomos de radón abandone el medio sólido y alcance los poros del terreno o del material. Este es un proceso denominado emanación. Una vez en los poros, el radón, gas inerte, no reaccionará con ningún otro elemento y estará en condiciones de desplazarse a traves de dichos poros, hasta alcanzar la superficie del suelo. Designaremos entonces por exhalación a la cantidad que de este gas escapa a la atmósfera exterior.

Un primer mecanismo de desplazamiento lo constituye la difusión. Este se justifica por el movimiento del radón desde zonas en que su concentración es alta hacia zonas en las que la concentración es menor, como, por ejemplo, el aire exterior. La ecuación de difusión nos proporciona la evolución de la concentración de radón, y en ella juega un papel fundamental la denominada longitud de difusión, definida como la distancia típica que el radón puede recorrer en un determinado material antes de desintegrarse. Esta longitud de difusión presenta valores del orden de 10-20 cm para el hormigón y de alrededor 1 m para un suelo normal. Resulta evidente de su definición que el radón creado a distancias superiores a la longitud de difusión no va a poder escapar al exterior de dicho material. Por esta razón, este mecanismo difusivo es importante cuando los materiales de construcción constituyen una fuente importante de radón en las casas, y no lo es tanto, cuando aplicamos el mismo razonamiento en la explicación de altos niveles de radón en casas donde el suelo es la principal fuente de producción. En estos casos, existe un segundo mecanismo de transporte de radón. Este tiene su fundamento en las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior de las casas, siendo esta última inferior en algunos pascales a la primera. En efecto, el viento y la calefacción en el interior de las casas, asociados a veces a la existencia de mecanismos extractores de ventilación o intercambiadores de aire para calefacción, son los responsables de generar en las habitaciones de la casa una depresión y crear, así, un campo de presiones que favorece la llegada de radón del suelo. Por ello, el radón se ve arrastrado por movimientos convectivos de masas de gas del suelo a través de los poros y fisuras que existen, no sólo en las rocas, sino en la propia estructura de las casas, pudiendo alcanzar de esta forma el interior de las mismas. Este último mecanismo es el que, en general, permite explicar las elevadas concentraciones existentes en el interior de las viviendas. Estaríamos, en resumen, hablando de la existencia de un flujo convectivo de gas, o simplemente de convección.

En las rocas en las que se encuentran, los átomos de uranio fabrican átomos de radio, pero al ser ambos sólidos, ninguno de los dos va a tener la posibilidad de desplazarse individualmente, si no es junto con la roca o suelo del que forman parte. Desde su localización en el suelo contribuirán, en mayor o menor medida, según su concentración a nuestra exposición a las radiaciones procedentes del suelo. Sin embargo, los átomos de radón que se forman a partir del radio van a poder desplazarse debido a su carácter gaseoso y desintegrarse dando lugar a descendientes. Pero este desplazamiento sólo será posible si las condiciones de las rocas y el suelo lo permiten. Así, las rocas muy fracturadas o suelos muy porosos van a poner pocas dificultades al desplazamiento del radón y van a permitir que éste alcance fácilmente la superficie del suelo y, por tanto, el aire exterior. Una vez en éste, el enorme volumen de aire de nuestra atmósfera es capaz de diluir el radón y con ello hacer que su concentración sea, en general, sumamente baja en este medio.

La permeabilidad de un medio nos relaciona la velocidad aparente de un fluido, líquido o gas, a través de los poros del mismo con los gradientes de presión existentes. Esta relación está descrita por la ley de Darcy, y, por supuesto, del valor de dicho parámetro se puede deducir la importancia que el proceso de convección tiene en el transporte de radón en el suelo con relación al otro mecanismo denominado difusión molecular. Este razonamiento es igualmente aplicable a los materiales de construcción ya que, por ejemplo, los hormigones, al formar parte de los cimientos de las casas y constituir la interfase casa-suelo, son la primera barrera que el radón va a encontrar en su paso hacia la casa. Así, cuando se genera un gradiente de presiones entre el suelo y el interior de la vivienda, el paso de aire que se produce será más importante cuando lo sean los valores de la permeabilidad de los suelos y materiales de construcción, generándose con ello la posibilidad de encontrar altos niveles de radón en las habitaciones.

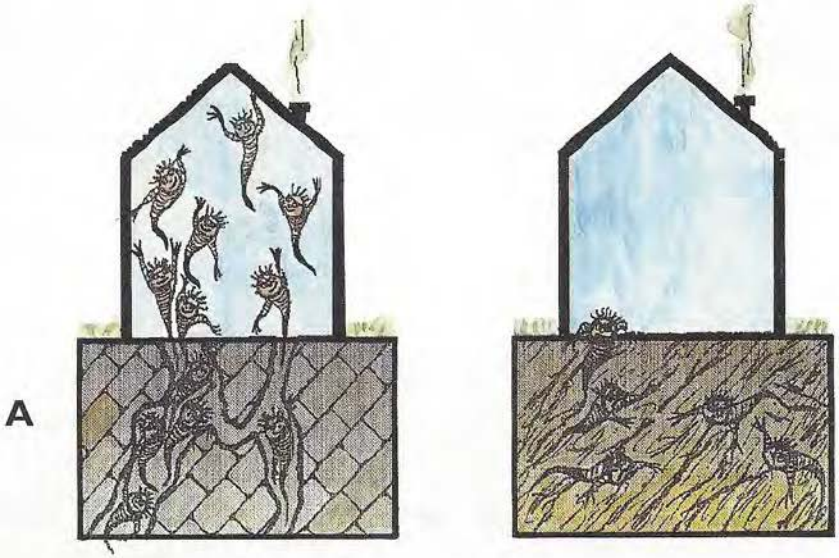
La permeabilidad de un medio depende no sólo del volumen de poros del mismo, sino también de su tamaño, distribución e interconexión existente entre los mismos. Por esta razón, la medida de este parámetro, tanto en el suelo sobre el que se va a localizar la vivienda como en los materiales que van a emplearse, constituye una fase previa de gran interés con vistas al diseño de la estrategia más eficaz que permita prevenir la futura presencia de elevadas concentraciones de radón en las casas. En general, la permeabilidad de los materiales de construcción resulta ser varios órdenes de magnitud inferior a la que presenta un suelo normal y, en promedio, es similar a la de las arcillas que aparece en la siguiente tabla.



Además de la porosidad ya comentada, la permeabilidad de los suelos, que nos indica la mayor o menor dificultad que los mismos presentan al paso de fluidos, constituye el parámetro más importante a la hora de evaluar el escape de radón del suelo y como consecuencia la mayor o menor cantidad del mismo dispuesta a entrar en nuestras casas.

Las arcillas, por ejemplo, al contener una concentración de uranio apreciable, son fuentes potenciales de radón. Sin embargo, su carácter impermeable hace que la cantidad de radón que alcanza la superficie sea muy pequeña. Por el contrario, en rocas muy fracturadas y permeables como pueden ser las calcáreas, que tienen un contenido en uranio unas 5 ó 10 veces más baja que las arcillas, el radón se desplaza más fácilmente y puede alcanzar la superficie del suelo en una mayor proporción.

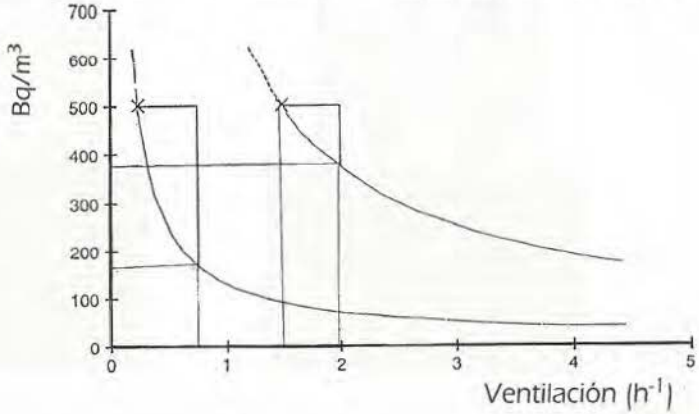
El contenido de radón en casas emplazadas sobre suelos arcillosos y calcáreos depende, no sólo de la cantidad de uranio existente en el suelo sino, también, de la permeabilidad del mismo. La experiencia acumulada tras miles de medidas de radón en el interior de casas sobre distintos tipos de suelos realizadas en todo el mundo confirman los argumentos expuestos.



Diversas técnicas pueden ser utilizadas para reducir las concentraciones de radón en las casas. Unas tratan, básicamente, de eliminar el radón existente, mientras que en otras, su objetivo es el impedir la entrada del mismo, a través, principalmente, del control del contenido radiactivo de los materiales de construcción y de la colocación de barreras en la interfase casa-suelo que imposibiliten el paso del radón al interior de las casas. Por su sencillez y fácil aplicabilidad vamos a comentar, brevemente, la relacionada con la ventilación natural de las casas.

El nivel de ventilación de una habitación viene a reflejar el número de veces que por unidad de tiempo se renueva totalmente el aire de la misma. Como quiera que el contenido de radón en el aire exterior es muy pequeño, es de esperar que la ventilación de una vivienda produzca una dilución del radón presente en su interior y, por tanto, dé lugar a una disminución de la concentración de dicho gas en las casas. Sin embargo, este proceso, fácil sobre el papel, resulta poco eficaz cuando las concentraciones de radón encontradas son muy elevadas. Para explicar este hecho, fijémonos en la Figura, en la que se ha representado la evolución de la concentración de radón en función de la tasa de ventilación para dos edificios que, en principio, presentan la misma concentración inicial, 500 Bq/m^3 y cuyas tasas de ventilación son 0,25 h^{-1} y 1,5 h^{-1} respectivamente. La primera corresponde a una casa bastante hermética y la segunda la podemos considerar normal, representativa de la media en las casas españolas.

Se observa que un aumento de 0,5 h^{-1} para ambas situaciones provoca evoluciones completamente diferentes en cada casa. Así, mientras que en la primera la concentración se reduce a 160 Bq/m^3, en la segunda sólo desciende hasta los 380 Bq/m^3, lo que representa una pobre disminución de la concentración de radón. Entonces, únicamente en el primer caso será útil este mecanismo de reducción de radón en las casas, siempre y cuando, además, se cumpla la hipótesis de que la concentración de radón presente una dependencia de tipo exponencial decreciente respecto de la tasa de ventilación, lo que ocurre si este mecanismo de ventilación natural no provoca diferencias de presión entre el interior de la casa y el exterior que vengan a modificar, por convección, la importancia de la fuente de radón procedente del suelo.



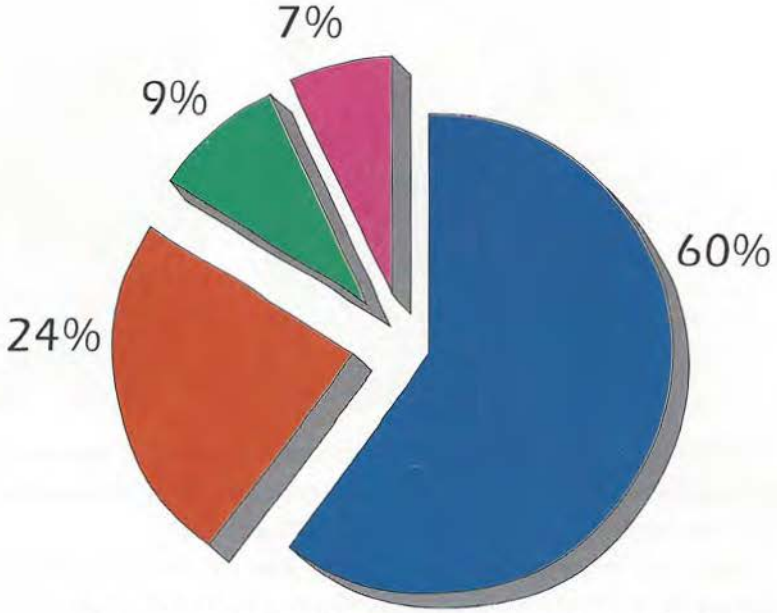
Los factores atmosféricos también influyen en la cantidad de radón que puede escapar del suelo y alcanzar las casas. Debido a que el radón es un gas que se disuelve muy bien en el agua, durante períodos de fuertes lluvias se saturan los poros del terreno, y por ello se acumula en la tierra pudiendo desplazarse grandes distancias disuelto en el agua. Todo ello trae como consecuencia una disminución de la cantidad de radón que alcanza la superficie del suelo. Por el contrario, una caída de la presión atmosférica provoca una salida suplementaria de radón del suelo, debido a un proceso convectivo motivado por la diferencia de presiones en la interfase suelo-aire.

Además, las diferencias de temperatura entre el interior de la casa y el exterior son responsables de la existencia de una variación de la concentración de radón a lo largo del día, con un máximo a primeras horas de la mañana.

Todos los factores descritos, junto con las variaciones de la ventilación de las casas en las épocas de invierno y verano, justifican los elevados niveles de radón medidos en las casas durante los períodos invernales que, por término medio, pueden llegar a superar, en un factor del orden de 1,5 veces, a los encontrados en la época estival.

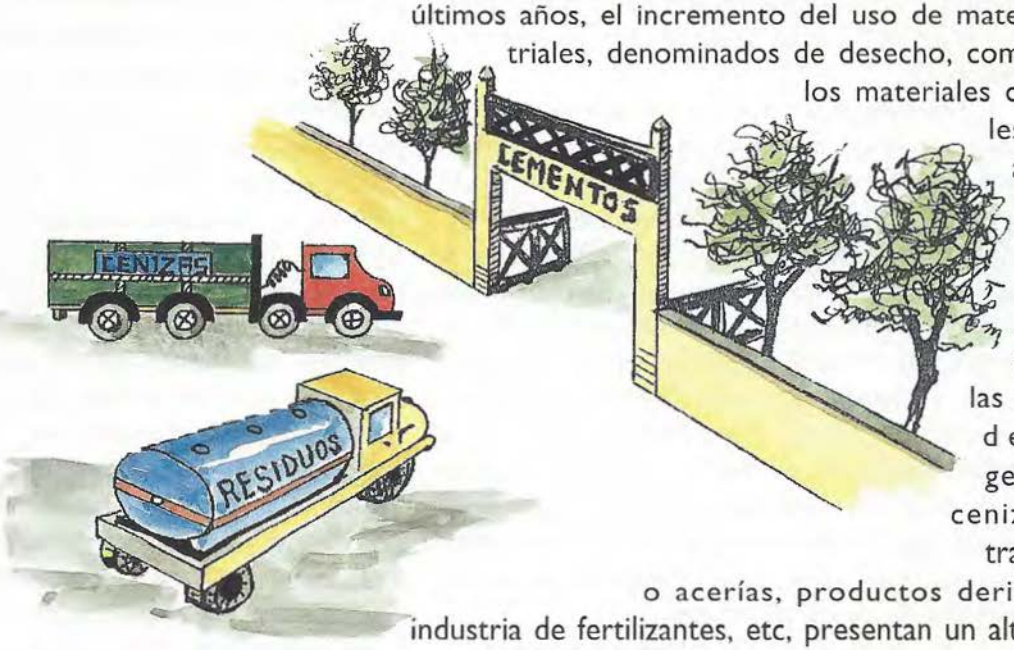
Se pueden encontrar en la bibliografía valores de la exhalación de radón procedente de diversos materiales de construcción. A partir de dichos valores, es posible, mediante modelos matemáticos, calcular la contribución de estos materiales en la concentración de radón en las casas, teniendo en cuenta la superficie disponible de exhalación y el volumen de la habitación.

Para la mayoría de los materiales empleados, tales como ladrillos, hormigones, etc, los valores de la exhalación son inferiores a los 10 $Bq/m^2.h$. Sin embargo, algunos de ellos, con elevados contenidos radiactivos, debido principalmente a la adición de cenizas volátiles, residuos de la industria de fertilizantes, etc, pueden presentar valores bastante más elevados. Además, existen elementos naturales, como los granitos, empleados en la construcción de casas cuyos valores de exhalación pueden resultar igualmente elevados. No obstante, en el caso general, la contribución de los materiales de construcción, salvo situaciones excepcionales, puede cifrarse en una cuantía del orden del 20% al 30% del total de radón presente en la habitación, siendo las medidas a tomar para reducir su contribución siempre más sencillas que las que son necesarias cuando es el suelo la fuente principal de radón en las casas.



PORCENTAJE DE CEMENTOS EN ESPAÑA PARA DISTINTAS CONCENTRACIONES DE RADIO EXPRESADAS EN Bq/Kg

Como acabamos de exponer, el suelo constituye la principal fuente del radón de las casas. La segunda fuente son los materiales de construcción empleados en las mismas. El contenido de uranio de los materiales de construcción depende, básicamente, de su zona de procedencia. No obstante, en los últimos años, el incremento del uso de materiales industriales, denominados de desecho, como aditivos a los materiales convencionales, ha venido a poner de manifiesto la importancia de esta fuente de radón en las casas. Estos desechos, generalmente cenizas de centrales térmicas o acerías, productos derivados de la industria de fertilizantes, etc, presentan un alto contenido en elementos radiactivos y, en particular, de radio. En todos los casos, el parámetro básico que controla la contribución de radón de los materiales de construcción es su exhalación, definida como el número de átomos de radón que, por unidad de superficie y tiempo, escapan de un material concreto pasando a formar parte del aire de las habitaciones.



La medida de la concentración de radón presente en una atmósfera determinada se basa en el recuento de las partículas alfa emitidas tanto por él como por sus descendientes de vida corta. Los métodos de medida pueden ser clasificados en tres grupos: instantáneos, continuos e integrados.

Los métodos instantáneos encuentran su utilidad cuando lo que se pretende es el poder disponer, de manera rápida, de unos valores de concentración de gas radón. En todos ellos se recogen muestras de aire durante un corto periodo de tiempo, para después proceder a su análisis en el laboratorio. El instrumental empleado para su realización suele ser sencillo, de bajo coste, y proporciona unos resultados rápidos. Sin embargo, dado el carácter puntual de la medida, es necesario ser muy cuidadoso en la elección de las condiciones de la misma, si queremos que los resultados obtenidos sean, además, representativos de una situación promedio para la casa objeto de estudio.

Los métodos continuos proporcionan resultados en tiempo real dándonos valores de la concentración de radón de un modo continuo. Para ello, se hace pasar un flujo constante de aire a través de una célula de centelleo, empleada igualmente para las medidas instantáneas, evaluándose continuamente la concentración de radón. Sin embargo, si bien estos métodos nos proporcionan mucha información acerca del radón, son costosos y poco prácticos para la determinación del radón en las casas y su ámbito queda restringido al de la investigación.

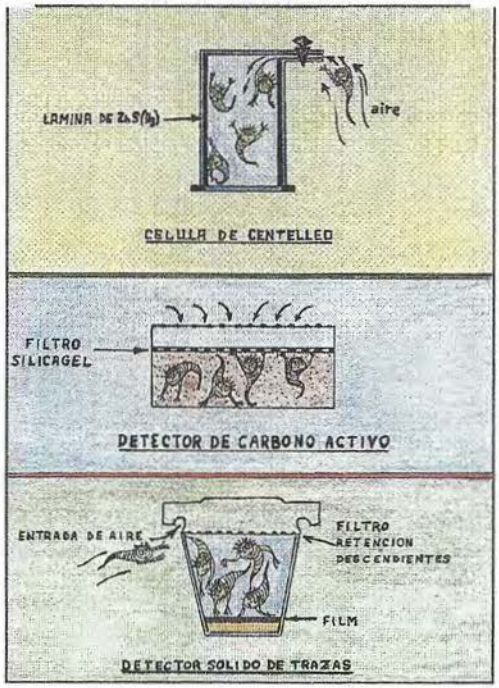
Los métodos integrados están basados en el empleo de detectores de trazas y/o cartuchos de carbón activo de geometría apropiada. En los primeros se emplean láminas muy finas de nitrato de celulosa o policarbonato en los que las radiaciones alfa emitidas por el radón y sus descendientes dejan huellas o trazas visibles al microscopio mediante el posterior tratamiento químico de los mismos. El número de huellas detectadas, mediante el empleo de un sofisticado sistema de microscopía, al ser proporcional a las concentraciones existentes durante el tiempo que estuvieron expuestos, proporciona un valor promedio de la concentración de radón.

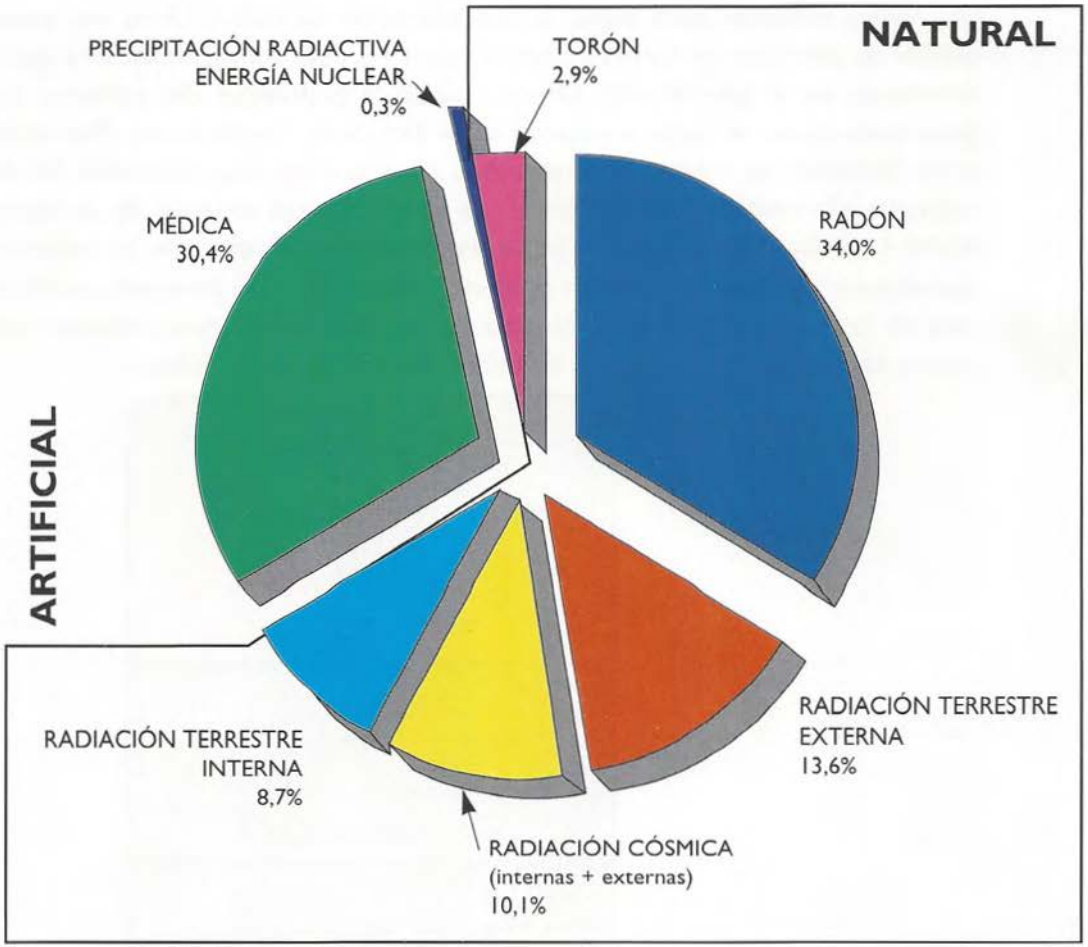
En el caso del carbón activo, se aprovecha su capacidad de absorción del radón. Así, tras una exposición de tres días a una semana en una atmósfera concreta, es posible llevar a cabo una evaluación del nivel de radón a través de la medida, mediante espectrometría gamma, del carbón activo expuesto.

Por supuesto, cada método presenta ventajas e inconvenientes que no vamos a describir en detalle. La utilidad de cada uno estará en función directa de los objetivos que se pretendan alcanzar en cada caso concreto. Sin embargo, algo que resulta imprescindible a la hora de emplear cualquiera de ellos es disponer de una buena calibración obtenida a través de muestras patrón y del contraste de los resultados alcanzados con otros laboratorios implicados, también, en la medida de este gas.

¿CÓMO PODEMOS MEDIR EL RADÓN?

Hay varios métodos para medir la concentración de radón. Unos son instantáneos y utilizan células de centelleo en forma de botella para recoger muestras de aire que se analizan posteriormente en el laboratorio. Otros utilizan la propiedad del carbono activo de absorber gases para captar el radón existente en el aire de las habitaciones. Por último, existen detectores llamados de trazas, porque sobre ellos quedan impresionadas las trazas debidas a la radiación alfa emitida por el radón y sus descendientes después de un tiempo largo de exposición. La utilización de unos u otros depende, básicamente, de los objetivos que se pretendan alcanzar con la medida y, en cualquier caso, necesitan personal cualificado para la realización de la misma. Como toda medida ha de tener su correspondiente unidad, la de la concentración de radón se expresa en bequerelios por metro cúbico.





CONTRIBUCIÓN DE LAS DISTINTAS FUENTES DE EXPOSICIÓN, DE ORIGEN NATURAL Y ARTIFICIAL, A LA DOSIS RECIBIDA POR LA POBLACIÓN

Como resumen de lo expuesto hasta aquí podemos decir que:

1.- La radiactividad es la propiedad en virtud de la cual algunos elementos (uranio, torio, radón, etc) se transforman, por emisión de partículas y radiaciones, en otros nuevos que pueden ser o no, a su vez, radiactivos.

2.- El radón es un elemento gaseoso radiactivo, «hijo» del radio, el cual procede de la desintegración del uranio. Por ello, donde hay uranio, cualquiera que sea su concentración, existirá obligatoriamente radón. Éste, cuando se desintegra, da lugar a descendientes o «hijos», que también son radiactivos.

3.- La disponibilidad de radón en la superficie de un suelo depende del contenido en uranio del mismo, y también de otras características como son su porosidad y permeabilidad, así como de las condiciones meteorológicas existentes en cada momento.

4.- La concentración de radón en el interior de una casa depende no sólo de las características físicas del suelo sobre el que se asienta, sino, además, de peculiaridades típicas de cada casa, como son el tipo de construcción, el régimen de ventilación y el contenido de radio de los materiales de construcción empleados en la misma.

A principios de 1896, el físico francés Henri Becquerel, después de conocer el reciente descubrimiento de los rayos X por Roentgen, decidió ver si algo semejante a los rayos X era emitido también por los cuerpos fluorescentes de los que se sabía que resplandecían bajo la acción de los rayos incidentes de luz. Para estos estudios escogió cristales compuestos a base de una sal de uranio derivada del radical uranilo (doble sulfato de uranio y potasio) que había estudiado antes a causa de sus acusadas propiedades fluorescentes. Como Becquerel creía que la radiación era el resultado de la iluminación exterior, colocó un cristal de uranilo sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro, y puso todo ello en el antepecho de la ventana. Cuando reveló la placa, después de unas cuantas horas de exposición a la luz del Sol, observó claramente una mancha oscura debajo del sitio en que había colocado el cristal de uranilo. Repitió el experimento varias veces y siempre encontró la mancha oscura, aunque puso papel más negro envolviendo la placa fotográfica.

Los días 26 y 27 de febrero de 1896 el cielo de París estaba cubierto de espesas nubes, la lluvia caía intermitentemente y la vida de los bulevares se había refugiado bajo los toldos de los cafés y restaurantes. Desgraciadamente, el profesor Becquerel puso la placa fotográfica recién envuelta con el cristal de uranilo sobre ella en un cajón de su mesa para esperar mejor tiempo. El Sol no apareció hasta el 1 de marzo y, aún entonces estaba oscurecido por nubes transeúntes. Sin embargo, Becquerel expuso otra vez su dispositivo a los rayos del Sol y pasó después a la cámara oscura para ver los resultados. Era algo increíble. En vez de manchas oscuras, que había obtenido anteriormente durante la exposición de todo un día a la brillante luz del Sol, se veía una mancha negra como el carbón debajo del sitio en que había estado el cristal de uranilo. Evidentemente el oscurecimiento de la placa no tenía relación alguna con la exposición del cristal de uranilo a los rayos del Sol, y el oscurecimiento de la placa fotográfica se había estado produciendo sin interrupción todo el tiempo en que estuvo con el trozo de uranilo en el cajón cerrado de la mesa. Era una radiación penetrante semejante a los rayos X, pero emanaba por sí misma, sin ninguna excitación externa, sino procedente de los átomos, probablemente los de uranio en el cristal de Becquerel. Éste ensayó calentar el cristal, enfriarlo, pulverizarlo, disolverlo en ácidos y hacer lo que se le pudo ocurrir, pero la intensidad de la misteriosa radiación seguía siendo siempre la misma. Era claro que la nueva propiedad de la materia, que recibió el nombre de radiactividad, no tenía relación alguna con la forma física o química en que los átomos se reunen, sino que era una propiedad oculta profundamente dentro del átomo mismo.

Durante los primeros años, después del descubrimiento de la radiactividad, gran número de químicos y físicos estuvieron muy ocupados estudiando el nuevo fenómeno. Madame María Sklodowska Curie, nacida en Polonia, buena química y esposa del físico francés Pierre Curie, realizó un extenso ensayo de todos los elementos químicos conocidos y sus compuestos para conocer su radiactividad y encontró que el torio emite radiaciones similares a las del uranio. Comparando la radiactividad de los minerales de uranio con la del uranio metálico, advirtió que los minerales eran cinco veces más radiactivos que lo que podía esperarse de su contenido en uranio. Esto indicaba que el mineral debía contener pequeñas cantidades de algunas otras sustancias mucho más activas que el propio uranio. Madame Curie logró obtener del Gobierno austríaco una tonelada de residuos, sin valor en aquel tiempo, del uranio producido en Joachimschal, Bohemia, que privados del uranio retenían todavía la mayor parte de su radiactividad...

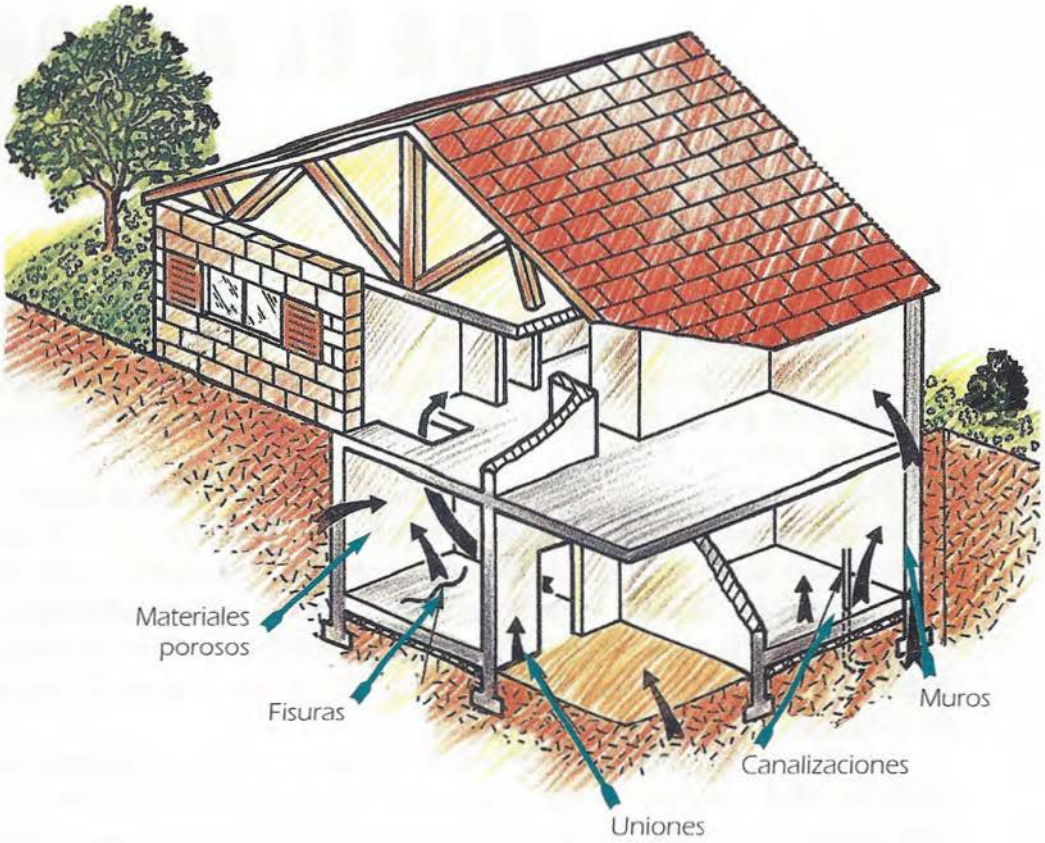
Biografía de la Física. George Gamow
Biblioteca General Salvat.1965.

¿QUÉ JUSTIFICA EL INTERÉS POR EL RADÓN HOY?

La existencia de elementos radiactivos, y más concretamente de los procedentes del radón y sus descendientes, es consustancial a la presencia del hombre sobre la Tierra. Sin embargo, sus efectos han quedado enmascarados por el desconocimiento científico que existía sobre los mismos.

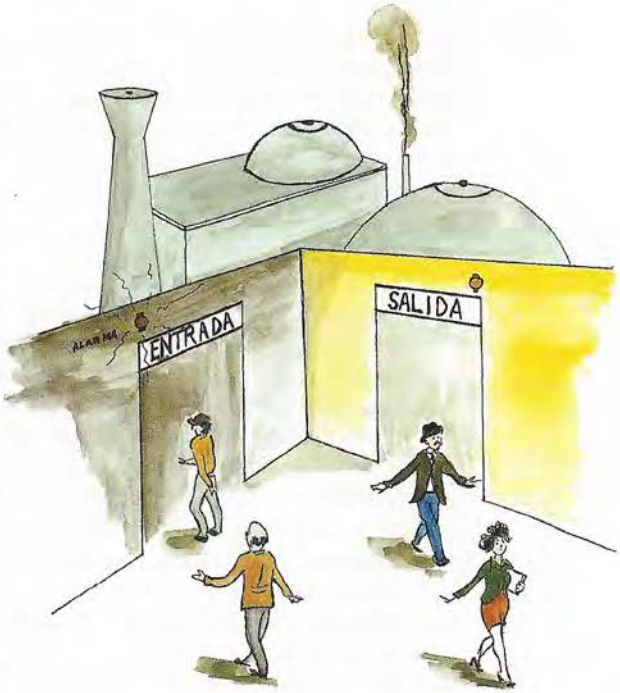
Mucho antes de descubrirse la radiactividad y sus efectos sobre nuestro organismo, algunos científicos ya habían vaticinado sobre los mismos. Así, en 1556, uno de ellos, llamado Agrícola, escribía el primer tratado de prospección relacionado con la explotación minera y la metalurgia. Allí señalaba la alta incidencia de enfermedades pulmonares mortales entre los trabajadores de la mina de pecblenda de Joachimestal, en Checoslovaquia. ¡La pecblenda es uno de los principales minerales del uranio! Allí estaba también la radiactividad y el radón, pero Agrícola no podía saberlo todavía.

Hemos visto que el radón es «hijo» del radio. Este fue descubierto por Pierre y Marie Curie en 1898, siéndolo el radón dos años más tarde por F. E. Dorn. Con anterioridad, la radiactividad había sido descubierta por Becquerel en 1896, quien observó que de las sales de uranio salían radiaciones que podían impresionar placas fotográficas. Pero ¿por qué tenían que ser las sales de uranio? Ahora, es fácil explicarnos que el carácter radiactivo de este elemento, uranio, no sólo es la causa de esa impresión de las placas sino también de que, a través del tratamiento de toneladas de mineral de uranio, el matrimonio Curie encontrase y aislase el polonio y el radio, descendientes de dicho elemento.



PRINCIPALES FUENTES DE RADÓN EN UNA CASA.

A partir de estas notas parece razonable pensar que los primeros efectos nocivos de las radiaciones fuesen observados entre los trabajadores de las minas de uranio. En efecto, uno puede imaginarse una mina con ingentes cantidades de uranio, galerías con pobre ventilación y niveles de radón muy elevados. Sin embargo, será a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando la necesidad de tener que emplear el uranio como principal combustible de las centrales nucleares haga que el incremento de la actividad minera cobre un auge muy importante, y que, con ella, aumente el número de trabajadores expuestos al radón en las galerías de esas minas. Fue por lo tanto, el desarrollo de la industria nuclear sobre el que subyace el problema del radón y en ella encontramos igualmente su aparición a la opinión pública.



Hace algunos años, en 1985, en Pensylvania, Stanley Watras, iba a la central nuclear en la que trabajaba. Como es la norma, atraviesa los detectores de radiactividad que controlan que ninguna sustancia radiactiva abandone el recinto de la central sin el correspondiente permiso. ¡La alarma se dispara! Ningún otro vehículo se encuentra en sus proximidades y una pregunta asalta su mente. ¿Está contaminado? ¡No, es imposible!, El está entrando a la central nuclear. Viene de su casa. Y es verdad, es allí donde ha sido contaminado. El radón presente en la misma, del orden de cientos de veces superior al existente en las minas de uranio, ha contaminado junto con sus descendientes sus ropas y, por ello, lógicamente, la alarma detecta su presencia y salta.

Tras el descubrimiento de los rayos X y la radiactividad apareció bien patente el hecho de que una excesiva exposición a tales agentes podía producir efectos perjudiciales en el organismo humano, desde pequeñas quemaduras en la piel, hasta trastornos más graves como anemia, destrucción de tejidos, esterilidad, cáncer e incluso la muerte para una exposición muy intensa.

Al igual que ocurre en la materia inerte, las radiaciones nucleares y los rayos X producen ionización al atravesar los tejidos de organismos vivos. Dicha ionización perturba el comportamiento químico de los constituyentes de las células afectadas algunas de las cuales pueden autoregenerarse mientras que otras resultan irreparablemente dañadas y aún cuando el efecto de la radiación no sea letal para una determinada célula puede el daño ser transmitido, al reproducirse la misma, a las siguientes generaciones del mismo tejido y si se trata de células genéticas, a las siguientes generaciones de la misma especie. Por ello, si bien algunos de los efectos de la radiación sobre todo para dosis reducidas son compensados por la facultad de recuperación de células y organismos, otros deben considerarse permanentes y por tanto acumulativos.

En la naturaleza y gravedad de las lesiones causadas por las radiaciones ionizantes influyen, aparte de la dosis total recibida, la clase y energía de la radiación, el que ésta proceda de fuentes externas o incorporadas al organismo, el que haya afectado a la totalidad del cuerpo o sólo a órganos determinados y finalmente el tiempo total de irradiación, es decir, la tasa media de dosis absorbida.

Al considerar los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes debe tenerse en cuenta, sin embargo, que éstas han existido siempre sobre la Tierra. Incluso existen zonas densamente pobladas en Brasil y la India donde por una elevada concentración de sustancias radiactivas en el subsuelo, se ven sometidos sus habitantes a dosis de radiación muy superiores a las dosis medias especificadas como normales, sin que en ellos se haya detectado una incidencia especial de alguna enfermedad atribuible a tal circunstancia.

En una primera consideración, los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes sobre el organismo humano pueden clasificarse en somáticos y genéticos. Son efectos somáticos aquellos que sólo afectan al propio individuo que ha sido irradiado. Entre éstos, se encuentran todos los tipos de cáncer inducidos por la radiación. Son en cambio, efectos genéticos los que afectan a la constitución o a la salud de los descendientes del individuo irradiado como resultado de mutaciones en sus células germinales.

Los efectos biológicos, también pueden clasificarse en prontos y tardíos, según el tiempo que tarden en manifestarse después de la irradiación. Efectos prontos son, por ejemplo, nauseas y vómitos o eritemas en la piel que aparecen tras una irradiación intensa y relativamente breve. Los cánceres inducidos son, en cambio, efectos tardíos que pueden aparecer entre 5 y 30 años después de la irradiación. Finalmente se clasifican también los efectos de la radiación en estocásticos y no estocásticos, encontrándose que para los primeros, por diferencia de los segundos, la probabilidad de ocurrencia pero no su gravedad, es función de la dosis recibida...

Radiaciones Ionizantes. Agustín Tañarro Sanz
Ed. JEN. Junta de Energía Nuclear.1986

¿QUÉ NIVELES DE RADÓN PUEDEN REPRESENTAR UN PELIGRO PARA LA SALUD ?

Resulta sencillo vaticinar una muerte casi segura para alguien que cae de un piso a veinte metros de altura, pero este fácil diagnóstico no lo es para el caso del radón. En efecto, es difícil establecer con exactitud un valor para la concentración de radón que, ciertamente, constituya un peligro real para la población. La razón está en que las radiaciones provocan daños, pero salvo que las dosis recibidas sean muy elevadas, éstos son difíciles de predecir o correlacionar con certeza. Además, en el estudio de efectos no debemos olvidar que algunos daños ocasionados por las radiaciones, las procedentes del radón y descendientes en nuestro caso, pueden ser reparados de manera natural por nuestro organismo. Pongamos un ejemplo comparativo para tratar de entenderlo. Supongamos que Vd sale de su casa cada día y atraviesa la calzada con los ojos cerrados. Como se podrá imaginar, no tiene por qué ser atropellado por un coche que pase, ni la primera, ni la segunda, ni la tercera vez que lo haga. Existirá una cierta probabilidad de ser atropellado, pero será distinta cada vez que intente cruzar, dependiendo ésta de otros factores, tales como el número de coches que circulen a la hora que Vd atraviesa la calzada, la anchura de ésta, la velocidad a la que Vd cruce la misma, etc. En resumen, no existirá nunca una certeza, salvo que continuamente estén pasando coches por esa calzada. Pues bien, lo mismo sucede con el radón, y no es el único agente para el que ocurre este fenómeno. Hay muchos viejos fumadores que nunca desarrollarán un cáncer de pulmón, a pesar de su elevado consumo de cigarrillos y de que, estadísticamente hablando, sean muchos los que terminen padeciéndolo aunque su consumo haya sido menor.

RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN DE 21 DE FEBRERO DE 1990 RELATIVA A LA PROTECCIÓN DE LA POBLACIÓN CONTRA LOS PELIGROS DE UNA EXPOSICIÓN AL RADÓN EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS (90/143/EURATOM) (Nº80/26, PUBLICADO EL 27/2/1990)

La Comisión de las Comunidades Europeas, visto el Tratado constitutivo de la Comunidad de la Energía Atómica y en particular el párrafo segundo de su artículo 33, previa consulta al grupo de expertos nombrados por el Comité Científico y Técnico en virtud del artículo 31 del Tratado, vistos los considerandos,

RECOMIENDA:

1.- Que se establezca un sistema adecuado para limitar toda exposición a las concentraciones de radón en el interior de edificios. Que dentro de este sistema se preste especial atención a la adecuada información al público y a la respuesta a las preocupaciones de éste.

2.- Por lo que respecta a los edificios ya existentes:

a) que se utilice un nivel de referencia para el examen de las acciones correctoras que caso de superarse deberán tener en cuenta medidas sencillas pero eficaces dirigidas a reducir el nivel de radón.

b) que el nivel de referencia corresponda a un equivalente de dosis efectiva de 20 mSv por año, lo que puede considerarse a efectos prácticos como el equivalente de una concentración media anual de gas radón de 400 Bq/m^3.

c) que el grado de urgencia de estas acciones correctoras dependa de la medida en que se haya superado el nivel de referencia.

3.- Por lo que respecta a las futuras construcciones:

a) que se utilice un nivel de diseño para ayudar a las autoridades competentes en la elaboración de reglamentos normas o códigos de práctica de la construcción aplicables a los casos en que se pueda superar el nivel de diseño.

b) que el nivel de diseño corresponda a un equivalente de dosis efectiva de 10 mSv por año, lo que puede considerarse a efectos prácticos como el equivalente de una concentración media anual de gas radón de 200 Bq/m^3.

c) que se suministre información a todos aquéllos que participen en la construcción de edificios nuevos, en la medida en que sea pertinente, sobre los posibles niveles de exposición al radón y sobre las medidas preventivas que puedan tomarse.

4.-Que cuando se determinen las medidas correctoras o preventivas se apliquen los principios de optimización de conformidad con las normas básicas de seguridad de la Comunidad.

5.- Que dadas las variaciones diarias y estacionales de los niveles de radón en el interior de edificios las decisiones sobre protección radiológica se basen por lo general en las mediciones medias anuales de gas radón o sus descendientes en edificios afectados, realizadas utilizando técnicas de integración. Que las autoridades competentes velen por que dichas mediciones posean la calidad y fialibidad adecuadas.

6.- Que se establezcan criterios para identificar las características de regiones, lugares y edificios que puedan estar asociados a niveles elevados de radón. Que puedan utilizarse niveles de investigación para los parámetros subyacentes, por ejemplo, la radiactvidad en el suelo y de los materiales de construcción, la permeabilidad del terreno, etc, para la identificación de las circunstancias de tales exposiciones.

Los destinatarios de la presente Recomendación serán los Estados miembros.

Hecho en Bruselas el 21 de febrero de 1990

Por la Comisión- Carlo Ripa Di Meana

A pesar de todo, parece lógico pensar que existan unos umbrales de exposición a partir de los cuales los daños resulten ser más difícilmente reparables. Estos umbrales se definen normalmente limitando el valor de las radiaciones recibidas por una persona expuesta a ellas.

Generalmente, estos umbrales son fijados a partir tanto de estudios realizados, en laboratorios, exponiendo animales a distintos niveles de radiación y observando los efectos producidos en ellos, como de estudios epidemiológicos llevados a cabo no sólo con víctimas de la radiactividad como lo fueron los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, sino también con trabajadores de minas, principalmente de uranio. A partir de estos estudios, la Comisión Internacional de Protección Radiológica en sus publicaciones nº 39 y 65, así como la Comisión de las Comunidades Europeas (Journal Official des Communities Europees, 27/3/1990, nº180/26), han dado unas recomendaciones sobre las concentraciones de radón a partir de las cuales deberían adoptarse medidas de protección. En las casas existentes, la CEE recomienda que la concentración media anual de radón no debe superar los 400 becquerelios por metro cúbico mientras que para las futuras construcciones este nivel no ha de sobrepasar los 200 becquerelios por metro cúbico. En cualquier caso estos valores siempre constituyen unos niveles de acción y por tanto nunca han de entenderse como la frontera entre el «sin efectos» y «con efectos». ¿ Qué es el becquerel ? Parece sencillo: es una unidad de medida de la radiactividad, al igual que empleamos el metro para la medida de longitud o el litro para la de capacidad. Es importante destacar que aunque en muchas casas el radón ha estado presente desde siempre, su presencia se ha puesto en evidencia desde hace poco. La razón hay que buscarla en el propio desarrollo de nuestra sociedad, que ha provocado, con el ahorro energético, el que nuestras casas sean cada vez más herméticas. Esto, sin duda, influye en el hecho de que el radón pueda acumularse en los hogares alcanzando en ocasiones concentraciones importantes.

A finales del siglo XIX y principios del presente aparecen los primeros trabajos publicados confirmando la sospecha que hasta entonces se tenía de que los mineros padecían con mayor frecuencia que la población general la enfermedad del pulmón. Posteriormente a principios del siglo XX, aparecen nuevas publicaciones haciendo ya mención expresa a la relación entre el trabajo de la minería y el riesgo a padecer cáncer de pulmón, que recientemente había sido diferenciado del resto de patologías pulmonares, e, incluso, a la posibilidad de que en el origen de estos cánceres estuviera la exposición a las radiaciones. En 1924 se realizan las primeras medidas de radiactividad en el aire y en el agua de las minas, de cuyos resultados se elabora la hipótesis de que fuera ésta la causante del exceso de cáncer de pulmón observado.

A partir de la II Guerra Mundial se iniciaron nuevos estudios epidemiológicos, que han supuesto un seguimiento de poblaciones de mineros a lo largo de años mediante estudios prospectivos de cohortes, o empleando la técnica de estudio de Casos-Controles.

Entre los más importantes, aparece el Colorado Plateau Study comenzado en 1949 con una población de 6.332 mineros de los que se realizó un seguimiento a lo largo de 25 años; pero existen otros más, como los realizados con mineros en Inglaterra y Checoslovaquia. En todos los resultados publicados se sugiere un aumento del riesgo de padecer cáncer de pulmón con la exposición a radón y la aplicación de un modelo multiplicativo en el caso de que a esta exposición se le añada el consumo de tabaco.

De los estudios realizados, se establece que, mientras que el número de muertes esperadas debería ser de 1,1 por 100.000 habitantes, para los mineros este valor era de 7,1 por 100.000 habitantes, que, por otra parte, aumentaba hasta 42,2 por 100.000 habitantes cuando a los niveles de radón se les añadía la exposición al tabaco. Esta circunstancia permite derivar un exceso de riesgo en los mineros que oscila entre 3,5 y 6 muertes por millón de habitantes y WLM de exposición, incluyendo el efecto del consumo de tabaco como variable multiplicativa.

Estudios de cohortes con 1515 mineros en Suecia muestran un aumento del riesgo en éstos del orden de 10, siendo el mismo para los mineros no fumadores de 2,9, lo que viene a confirmar los resultados encontrados por los métodos de Casos-Controles. No obstante, en discordancia con todos estos datos están otros estudios en los que no se encuentra una correlación tan clara, si bien es preciso comentar que éstos se refieren a trabajadores de minería en general y no a los de la del uranio, e incluso aquéllos en los que se recoge el efecto beneficioso que el radón pudiese tener sobre la prevención del cáncer de pulmón.

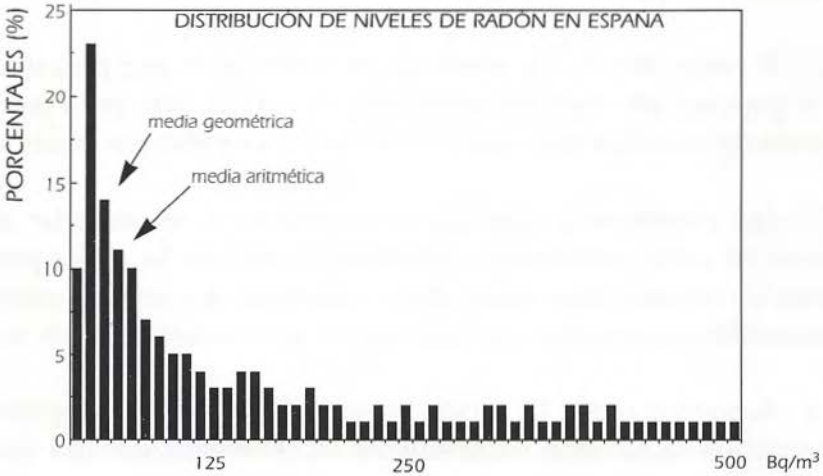
En el momento presente, 15 estudios Casos-Controles, empleando una misma metodología, están desarrollándose en distintas partes del mundo empleando como sujetos de estudio a la población en general. El conjunto de resultados está anunciado para finales de 1997, y será entonces cuando se dispondrá de una información que nos permitirá saber si es posible la extrapolación del riesgo definido para los trabajadores de las minas de uranio a las personas que residen en casas, donde por lo general los niveles de radón resultan ser mucho más bajos y las condiciones ambientales son igualmente diferentes.

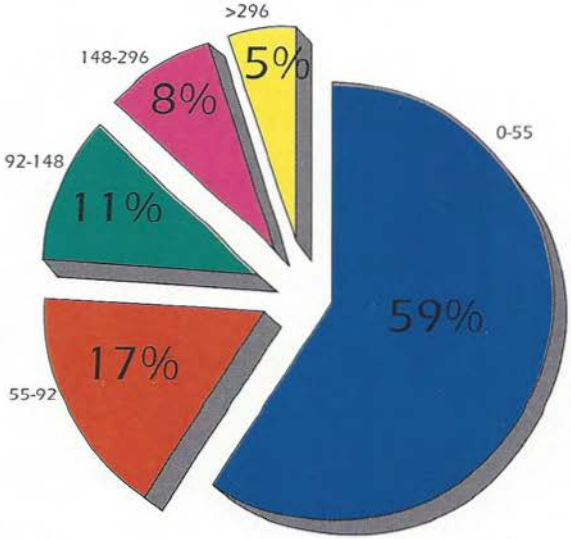
Como resumen de este apartado podemos concluir que:

1.- El riesgo debido a la presencia de radón es de tipo probabilístico. Este hecho constituye la principal dificultad del legislador a la hora de fijar unos niveles de acción a partir de los cuales dicho riesgo se puede considerar no asumible por nuestra sociedad actual.

2.- Los niveles de acción que se establecen o recomiendan para la concentración de radón en las casas constituyen referencias a partir de las cuales podemos y debemos tomar medidas correctoras pero nunca debe entenderse que aquellas casas que superan ligeramente ese umbral constituyen lugares de «envenenamiento» para sus moradores.

3.- Aunque el radón ha estado presente en el aire de nuestras casas desde siempre, su concentración se ha visto notablemente incrementada por una construcción cada vez más hermética de las mismas con objeto de conseguir un mayor ahorro energético.





PORCENTAJE DE CASAS EN ESPAÑA PARA DISTINTAS CONCENTRACIONES DE RADÓN EXPRESADAS EN Bq/m^3

ALGUNAS CONCLUSIONES

Como síntesis de todo lo expuesto en este documento, podemos distinguir entre lo que sobre el radón aparece como demostrado científicamente y aquellos otros temas o cuestiones que necesitan una confirmación definitiva. Ambos aspectos se resumen a continuación:

ES CIENTIFICAMENTE ACEPTADO SOBRE EL RADÓN:

A.- Su origen, sus características físico-químicas y su carácter de elemento cancerígeno.

B.- Que la dosis debida a la presencia del radón en el aire que respiramos en el interior de los edificios representa alrededor del 50% del total de la recibida por la población como consecuencia de su exposición a la radiación de origen natural.

C.- Que su presencia en elevadas concentraciones en el aire de las minas de uranio le hace corresponsable de la existencia de un incremento significativo en el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón entre los trabajadores de las mismas.

SE NECESITA MÁS INVESTIGACIÓN SOBRE EL RADÓN:

A.- Identificar y localizar a lo largo del aparato respiratorio las células sobre las que el radón y sus descendientes actúan de una manera más específica.

B.- Conocer las dosis de radiación recibidas por las células debidas al radón y sus descendientes a partir de modelos dosimétricos adecuados.

C.- La realización de estudios epidemiológicos que confirmen o no la incidencia del gas radón, para bajas concentraciones del mismo, en el desarrollo de cáncer de pulmón.

A la espera de los resultados de estas investigaciones, la mejor forma de minimizar los efectos del radón en las casas es su prevención. Esta incluye, principalmente, la correcta definición y evaluación de las fuentes de dicho gas y el adecuado diseño previo de las casas, que haga innecesario el empleo de técnicas de reducción de los niveles de radón cuando éstos se encuentren ya presentes en las mismas, que siempre resulta mucho más difícil y costoso.

En resumen, es indudable que el radón constituye y constituirá en los próximos años un tema de plena actualidad, tanto para científicos y políticos como para el público en general. El propósito último de este documento ha sido tratar de aportar un poco de luz sobre el tema y la problemática que presenta este gas al cual se le puede considerar ciertamente, como la más importante fuente de exposición a las radiaciones en nuestro planeta.

REFERENCIAS SOBRE EL TEMA

•Clarke, R.H. and Southwood, T.R. «Risks from ionizing radiation». Nature, 338, pp 197-202, 1989.

•Cohilis, P.. «Le Radon dans les habitations». Cabinet du ministre du logement pour la region wallone, Bruxelles 1991.

•Dios Vidal, R. «Poder generador de radón en suelos gallegos en relación con otros grandes grupos mundiales y con el contenido en plomo total». Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XXIII, 1964.

•Documents of the NRPB. «Board Statement on Radon in Homes». National Radiological Protection Board.Chilton.UK.1990.

•Doll R. and Peto, R. «The causes of cancer: Quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the USA today». Journal of National Cancer Institute , 66, pp 1191-1308. 1981.

•Garzón Ruipérez, L.. «Radón y sus riesgos». Ed. Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo.1992.

•Hopke, P.K. (Ed). «Radon and its decay products». American Chemical Society. Washington, DC, 1987.

•International Commission on Radiological Protection. «Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation». ICRP Publication n°39.1984.

•International Commission on Radiological Protection. «Protection against radon-222 at home and at work». ICRP Publication n°65.1994.

•International Commision on Radiological Protection. «Lung Cancer risk from indoor exposures to radon daughters». A report of a task group of the IRCP.Ed. Pergamon Press. Oxford, 1987.

•National Radiation Council. «Health risks of radon and other internally deposited alpha emitters (BEIR IV)». NATIONAL ACADEMY PRESS.1988.

•NCRP n°9. «Measuremnet of radon and radon daughter in air». National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD.1988.

•NCRP n° 103. «Control of radon in houses». Bethesda, Maryland, 1989.

•National Research Council. «Comparative dosimetry of radon in mines and Homes». National Academy Press. Washington D.C., 1991.

•National Research Council. «Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation BEIR V». Washington, D.C. 1990.

•Nazaroff, W and Nero, A.V. (Eds). «Radon in Indoor air». John Wiley & Sons. New York. 1988.

•Nero A.V. and Lowder W.M. «Indoor Radon». Ed. Pergamon Press. Health Physics Vol 45, n°2, 1983.

•Nero A.V., Schweht M B and Nazarow W.W. «Distribution of airborne radon concentrations in US homes». Science. 234, pp 992-997.1986.

•O´Riordan M. «Human exposure to radon in homes». Documents of the NRPB. 1990.

•Peller S. «Lung cancer among mine workers in Joachismthal». Human Biology 11, pp 130-143. 1939.

•Quindós L.S., Fernández, P. and Soto, J. «National survey on indoor radon in Spain». Environment International, 17, pp 449-453. 1991.

•Quindós, L.S., Soto, J. Fernández, P., Arteche J. and Villar, E. «Radón, principal fuente de radiación natural». Revista Española de Física, 3, pp 22-27. 1989.

•Quindós, L. S., Soto, J. Fernández, P. «Exposure to Natural sources of Radiantion in Spain». Nuclear Tracks Radiat. Meas. Vol 21, N°2, pp 295-298. 1993

•Radford E P, Clair R G and Cair S R, «Lung cancer in Swedish iron miners exposed to low doses of radon daughters». National England Journal of Medicine, 310, pp 1485-1494, 1984.

•Radiation Protection Dosimetry. «The Natural Radiation Environment». Proceedings of the Fourth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Lisboa, Portugal, 1987.

•Radiation Protection Dosimetry. «The Natural Radiation Environment». Proceedings of the Fith International Symposium on the Natural Radiation Environment, Salzburg, Austria, 1991.

•Radiation Protection Dosimetry. «Statistics of Human Exposure to Ionizing Radiation». Proceedings of a Workshop held in Oxford, 1990.

•Nero A.V., Schweht M B and Nazarow W.W. «Distribution of airborne radon concentrations in US homes». Science. 234, pp 992-997.1986.

•O´Riordan M. «Human exposure to radon in homes». Documents of the NRPB. 1990.

•Peller S. «Lung cancer among mine workers in Joachismthal». Human Biology 11, pp 130-143. 1939.

•Quindós L.S., Fernández, P. and Soto, J. «National survey on indoor radon in Spain». Environment International, 17, pp 449-453. 1991.

•Quindós, L.S., Soto, J. Fernández, P., Arteche J. and Villar, E. «Radón, principal fuente de radiación natural». Revista Española de Física, 3, pp 22-27. 1989.

•Quindós, L. S., Soto, J. Fernández, P. «Exposure to Natural sources of Radiantion in Spain». Nuclear Tracks Radiat. Meas. Vol 21, N°2, pp 295-298. 1993

•Radford E P, Clair R G and Cair S R, «Lung cancer in Swedish iron miners exposed to low doses of radon daughters». National England Journal of Medicine, 310, pp 1485-1494, 1984.

•Radiation Protection Dosimetry. «The Natural Radiation Environment». Proceedings of the Fourth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Lisboa, Portugal, 1987.

•Radiation Protection Dosimetry. «The Natural Radiation Environment». Proceedings of the Fith International Symposium on the Natural Radiation Environment, Salzburg, Austria, 1991.

•Radiation Protection Dosimetry. «Statistics of Human Exposure to Ionizing Radiation». Proceedings of a Workshop held in Oxford, 1990.

•Samet J.M. and Nero A.V. «Indoor radon and lung cancer». National England Journal of Medicine. 320, pp 591-598, 1989.

•Samet J.M. «Radon and lung cancer:The BEIR IV report». Health Physics. 59, pp 89-97. 1990.

•Samet J., Stolwijk J and Rose S. «Summary: International workshop on residential radon epidemiology». Health Physics. 60, pp 223-227. 1991.

•The Science of the Total Environment. «Exposure to enhanced material radiactive and its regulatory implications». Proceedings of the Seminar held in Maastricht, The Netherlands, 1985.

•United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, effects and risks of ionizing radiations.1988 report to the General Assembly with annexes. New York, 1989.

•United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiations.1993 report to the General Assembly with annexes. New York, 1993.

•Whittemore AS and McMillan A. «Lung cancer mortality among US uranium miners: A reappraisal». Journal of National Cancer Institute, 71, pp 489-499. 1983.

•M.W.Wilkening. «Radon in the Environment». Ed. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. 1990.

ORGANISMOS RELACIONADOS CON ESTUDIOS SOBRE EL RADÓN EN ESPAÑA

CÁTEDRA DE FISÍCA MÉDICA
Facultad de Medicina. Universidad de Extremadura
06071 Badajoz

CÁTEDRA DE FISÍCA MÉDICA
Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba
14004 Córdoba

CÁTEDRA DE FISÍCA MÉDICA
Facultad de Medicina. Universidad de la Laguna
38203 Santa Cruz de Tenerife

CÁTEDRA DE FISÍCA MÉDICA
Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria
39011 Santander

CIEMAT. INSTITUTO DE MEDIO AMBIENTE
Avenidad de la Complutense 22
28040 Madrid

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR
c/ Justo Dorado 11
28040 Madrid

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA NUCLEAR
Universidad de Oviedo
33004 Oviedo

DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Universidad de las Islas Baleares
07071 Palma de Mallorca

DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA
Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga
29071 Málaga

DEPARTAMENTO MEDICINA PREVENTIVA
Facultad de Medicina.Universidad de Santiago
15705. Santiago de Compostela. La Coruña.

ENRESA
C/Emilio Vargas 7
28043 Madrid

ENUSA S.A.
c/ Santiago Rusiñol 12
28040 Madrid

GRUPO DE FÍSICA DE LAS RADIACIONES
Universidad Autónoma de Barcelona
08193. Bellaterra. Barcelona

INSTITUTO DE SALUD CARLOS III
Carretera Majadahonda-Pozuelo Km. 2
28220 Madrid

INSTITUTO DE FÍSICA CORPUSCULAR
Universidad de Valencia
46100 Burjassot. Valencia

INSTITUTO DE TÉCNICAS ENERGÉTICAS
Universidad Politécnica de Cataluña
08028 Barcelona

GLOSARIO

Actividad: Número medio de desintegraciones nucleares que se producen por unidad de tiempo. Su unidad es el becquerel, representado por Bq. Un Bq es equivalente a una transformación por segundo.

Átomo: Es la porción más pequeña de un elemento que puede combinarse químicamente con otros átomos.

Desintegración: Propiedad de los elementos radiactivos según la cual la masa del elemento se va transformando en energía radiante y en otros elementos de menor masa

Dosis absorbida: Cantidad de energía cedida por la radiación ionizante a la unidad de masa de material irradiado. Su unidad es el gray, que se representa por el símbolo Gy. Un Gy es equivalente a un julio por kilogramo.

Dosis equivalente: Cantidad obtenida multiplicando la dosis absorbida por un factor de ponderación de las radiaciónes incidentes que tiene en cuenta el distinto daño biológico que las diferentes radiaciones ionizantes producen en los tejidos. Su unidad es el sievert y se representa por el símbolo Sv. El factor para los rayos gamma, rayos X y partículas beta es de 1, mientras que para las partículas alfa, es de 20.

Dosis efectiva: Cantidad obtenida multiplicando las dosis equivalentes para los distintos tejidos y órganos por el factor de riesgo ponderado correspondiente a cada uno de ellos y sumando los productos. Su unidad es el Siervert y su símbolo el Sv.

Electrón: Partícula elemental de masa muy pequeña y carga eléctrica negativa.

Elemento: Substancia compuesta de átomos del mismo tipo.

Fisión: Fisión nuclear: Proceso en el cual un núcleo se escinde en dos o más núcleos con liberación de energía.

Ion: Partículas, atomo o grupo de átomos con carga eléctrica.

Ionización: Proceso por el cual un átomo neutro o grupo de átomos neutros adquieren o pierden carga eléctrica.

Isótopo: Núclidos con el mismo número de protones y distinto número de neutrones.

Neutrón: Partícula elemental con masa, la unidad de masa atómica y de carga eléctrica nula.

Núclido o Nucleido: Especie de átomo que se caracteriza por su número de protones y neutrones.

Núcleo: Parte central del átomo, con carga eléctrica positiva, que ocupa poco del volumen de éste y contiene la mayor parte de su masa.

Partícula alfa: Partícula compuesta de dos protones y dos neutrones. Es emitida por los radionúclidos.

Partícula beta: Electrón emitido por el núcleo de un radionúclido. La carga eléctrica puede ser positiva en cuyo caso la partícula beta se denomina positrón.

Potasio: Elemento metálico ligero bastante abundante en la naturaleza. El isótopo potasio-40, que representa una pequeña fracción del elemento, es radiactivo.

Producto de desintegración: Núclido o radionúclido que se forma como resultado de una desintegración nuclear o de una serie sucesiva de ellas a través de varios radionúclidos.

Protón: Partícula elemental con una masa, de aproximadamente la unidad de masa atómica y carga eléctrica positiva unitaria.

Radiación: Proceso de emisión de energía en forma de ondas o partículas.

Radiación artificial: Radiación ionizante emitida por un radionúclido artificial como el cesio 137 o por una máquina como un aparato de rayos X.

Radiación ionizante: Radiación que produce ionización en la materia. Ejemplo de ello son las partículas alfa, beta, los rayos gamma y X y los rayos cósmicos.

Radiación natural: Radiación ionizante emitida por elementos de origen natural como el uranio, o por fuentes naturales como el sol.

Radiactividad: Propiedad de los radionúclidos de emitir de forma espontánea radiaciones ionizantes.

Radionúclido: Núclido inestable que emite radiaciones ionizantes en el curso de su desintegración.

Radón: En sentido estricto, radón-222, gas inerte y radiactivo, que es un producto de desintegración del uranio-238.

Rayos cósmicos: Radiaciones ionizantes dotadas de gran energía procedentes del espacio.

Rayos gamma: Energía electromagnética, sin masa ni carga, emitida por un radionúclido.

Rayos X: Energía electromagnética, sin masa ni carga, emitidos por aparatos de rayos X y los átomos en determinados casos.

Torio: Uno de los elementos radiactivos de origen natural, metálico y muy difundido en la naturaleza. El isótopo más común es el torio 232.

Torón: En sentido estricto, radón-220, es un producto de desintegración del torio-232.

Uranio: Uno de los elementos radiactivos de origen natural, metálico y muy difundido en la naturaleza. El isótopo más común, el uranio-238.